DOI: 10.29298/rmcf.v17i98.1641

Artículo de investigación

Evaluación dasométrica, diversidad y condición integral del arbolado urbano en Tingo María, Huánuco, Perú

Dendrometric assessment, diversity, and overall condition of the urban tree population in *Tingo María*, *Huánuco*, Peru

Jairo Edson Gutiérrez-Collao[1]*, Edwins Bens Sanchez Ramos[2], Julio Miguel Ángeles-Suazo[1], Camila Valentina Carrasco-Llaique[3], Frank Alex Chahuaylacc De La Cruz[1], Nataly Lujan Huamani[1]

Fecha de recepción/Reception date: 12 de febrero de 2026.
Fecha de aceptación/Acceptance date: 17 de junio de 2026.

[1]Escuela Profesional de Ingeniería Forestal y Ambiental, Universidad Nacional Autónoma de Tayacaja Daniel Hernández Morillo. Perú.

[2]Escuela Profesional de Ingeniería Forestal, Universidad Nacional Agraria de la Selva. Perú.

[3]Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Sanitaria, Universidad Nacional de Huancavelica. Perú.

*Autor para correspondencia; correo-e: jairo.gutierrez@unat.edu.pe
*Corresponding author; e-mail: jairo.gutierrez@unat.edu.pe

Resumen

El arbolado urbano es clave para el ambiente y la calidad de vida en las ciudades. En ese sentido, esta investigación tuvo como objetivo evaluar el arbolado urbano en cinco avenidas principales de la ciudad de Tingo María, en la región Huánuco, Perú; con el propósito de conocer las variables dasométricas, fitosanitarias, diversidad y riesgos asociados. Se realizó un censo del arbolado en cada avenida, y por individuo se registró la siguiente información: el diámetro normal (*Dn*), la altura total (*Ht*) y área de copa (*AC*). Asimismo, se calcularon los índices de diversidad de *Shannon* (*H'*) y *Margalef* (D_{Mg}), y se evaluó su estado estructural, físico y sanitario, junto con los riesgos potenciales asociados al arbolado urbano. Se contabilizaron 759 individuos, distribuidos en 50 especies y 26 familias, con predominio de Arecaceae y Fabaceae, además de una marcada presencia de especies exóticas como *Terminalia catappa*. Las variables dasométricas evidenciaron alta variabilidad estructural (*Dn*=26.12 cm; *Ht*=6.29 m; *AC*=39.50 m^2). La avenida Alameda Perú presentó mayor diversidad (*H'*=2.11; D_{Mg}=4.72). En conclusión, el arbolado urbano de Tingo María presenta buen estado físico y sanitario y baja interferencia con la infraestructura; sin embargo, se debe priorizar el uso de especies nativas.

Palabras clave: Áreas verdes urbanas, estado físico, evaluación fitosanitaria, gestión urbana, índices de diversidad, variables dasométricas.

Abstract

Urban trees are key to the environment and quality of life in cities. Thus, this study aimed to assess the urban tree population along five major avenues in the city of *Tingo María*, in the *Huánuco* region of Peru, in order to identify dasometric and phytosanitary variables, as well as biodiversity and associated risks. A tree census was conducted on each avenue, and the following information was recorded for each individual tree: normal diameter (*Nd*), total height (*Th*), and crown area (*CA*). In addition, the Shannon (*H'*) and Margalef (D_{Mg}) diversity indices were calculated, and the structural, physical, and health status of the trees was assessed, along with the potential risks associated with urban trees. A total of 759 individuals were recorded, representing 50 species and 26 families, with a predominance of Arecaceae and Fabaceae, as well as a significant presence of exotic species such as *Terminalia catappa*. The dasometric variables exhibited high structural variability (*Nd*=26.12 cm; *Th*=6.29 m; *CA*=39.50 m^2). *Alameda Perú* Avenue showed greater diversity (*H'*=2.11; D_{Mg}=4.72). In conclusion, the urban tree population in *Tingo María* is in good physical and health condition and causes minimal interference with the city's infrastructure; however, priority should be given to the use of native species.

Keywords: Urban green spaces, physical condition, phytosanitary assessment, urban management, diversity indices, dasometric variables.

Introducción

La buena gestión del arbolado urbano para el bienestar poblacional requiere fortalecer el conocimiento sobre su estructura y funcionamiento, a fin de sustentar la toma de decisiones con evidencia científica (Lucchezi-Miyahara et al., 2022). En las áreas urbanas, donde las especies arbóreas constituyen el principal componente del paisaje (Jiménez-Pérez et al., 2022; Semeraro et al., 2021), su selección, uso y manejo adquieren especial relevancia y son definidas por ciudadanos, promotores inmobiliarios y autoridades (Andrade et al., 2021). No obstante, el arbolado urbano, además de aportar múltiples beneficios, está expuesto a diversos factores de estrés (climáticos, ambientales y bióticos) que aumentan su vulnerabilidad a defectos estructurales y fallas, lo que puede representar un riesgo para las personas y la infraestructura, si no se maneja y evalúa adecuadamente (Esperon-Rodriguez et al., 2025).

El arbolado urbano es un componente clave del paisaje y del bienestar ambiental en las ciudades, ya que mitiga los impactos de la urbanización y mejora la calidad de vida (Angeles-Vasquez et al., 2025; Martínez-Juárez et al., 2022). Además, provee servicios ecosistémicos de regulación, culturales y de provisión; asimismo, contribuye a mejorar la calidad del aire y del agua, a la reducción del calor, la captura de carbono y el control de plagas a través de la regulación biológica, al favorecer la presencia de enemigos naturales (aves y artrópodos) y al incrementar la diversidad vegetal, lo que reduce la incidencia de plagas específicas (Madayani & Lola, 2025; Sharma et al., 2024; Vashist et al., 2025).

Por ello, la evaluación de las características estructurales y la condición de riesgo del arbolado urbano es fundamental para orientar su gestión eficiente, contribuir a la sostenibilidad de la planificación urbana y prevenir riesgos a la seguridad pública, mediante el aporte de información útil para la toma de decisiones en el manejo de las áreas verdes (Hernández-López et al., 2024).

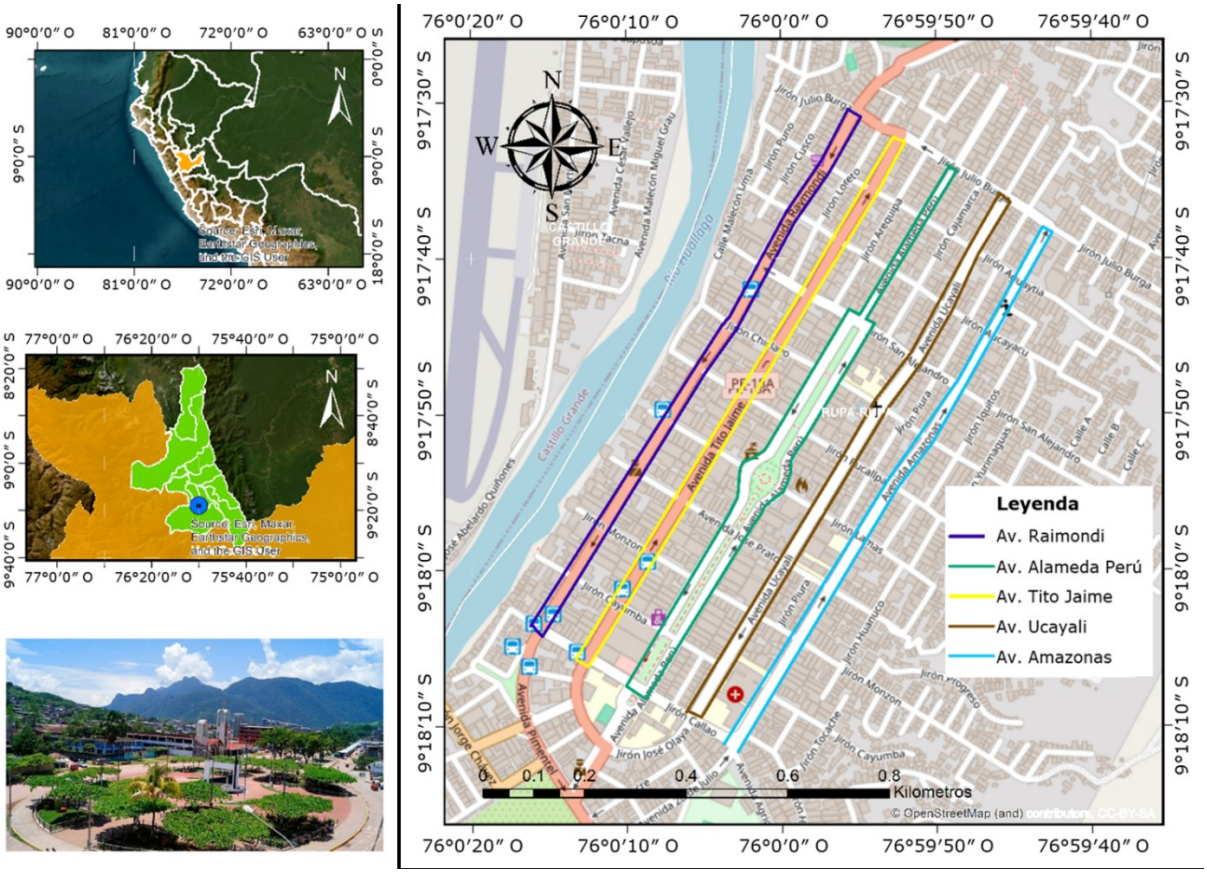
El principal reto es implementar un manejo que mantenga grados de riesgo aceptables (Tomao et al., 2015), considerando que el arbolado urbano puede generar impactos negativos según su ubicación, etapa de desarrollo y mantenimiento (Lyytimäki, 2017). Además, los daños a la infraestructura como pavimentos, banquetas y jardineras responden a la interacción de factores biológicos, sociales y ambientales, lo que exige una gestión integral basada en criterios técnicos (Esquivel & Quijas, 2021). En este contexto, en la presente investigación se evaluó el arbolado urbano de Tingo María, Huánuco, Perú; para ello se integraron variables dasométricas, fitosanitarias, de diversidad y riesgos asociados en respuesta a la necesidad de analizar, integralmente, su condición estructural, estado sanitario y su interacción con el entorno urbano.

Materiales y Métodos

Área de estudio

La investigación se desarrolló en cinco avenidas principales de la zona urbana de Tingo María, ubicada en la provincia Leoncio Prado, región Huánuco, Perú. La ciudad se localiza a 660 m de altitud, catalogada como bosque muy húmedo subtropical, cálido-húmedo-lluvioso (Holdridge, 1978); temperatura media anual entre 24 y 25 °C, 3 400 mm de precipitación anual promedio y 77.5 % de humedad media relativa (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú [Senamhi], 2022).

Se implementó un sistema de registro basado en la zonificación de las principales avenidas de Tingo María, según el plano urbano. El estudio abarcó diez cuadras de las avenidas Amazonas, Ucayali, Alameda Perú, Tito Jaime y Antonio Raimondi (Figura 1), seleccionadas por su alta densidad de tránsito vehicular y peatonal.



W = Oeste.

Figura 1. Área de estudio.

Identificación de especies del arbolado urbano

Se realizaron recorridos sistemáticos para registrar información e identificar las especies de interés en forestería urbana; cuando fue necesario, se recolectaron muestras representativas para su posterior análisis e identificación en el Herbario de la Universidad Nacional Agraria de la Selva. Las especies se identificaron por nombre común y científico (Martínez-Trinidad et al., 2021; Sikuzani et al., 2019), y la nomenclatura se verificó en *World Flora Online* (WFO, 2025).

Evaluación de variables dasométricas del arbolado urbano

Se censaron y midieron todos los individuos leñosos, palmas y árboles excluyendo plántulas y brinzales (Esquivel & Quijas, 2021). El diámetro normal (*Dn*) se midió con cinta diamétrica *Forestry Suppliers*® modelo 283D/5 m. La altura total (*Ht*) se determinó con clinómetro *Suunto*® modelo PM-5/360PC, desde el nivel del suelo hasta la yema terminal. La cobertura de copa se calculó según la guía del Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (Midagri, 2022); el radio se midió con cinta métrica *Major*® de 30 m con asa, y el área se estimó mediante la Ecuación 1 sugerida por Midagri (2022):

$$AC = \frac{\pi}{4} \times DMC \times DmC \qquad (1)$$

Donde:

AC = Área de copa de árboles (m^2)

DMC = Diámetro mayor de copa de árboles (m)

DmC = Diámetro menor de copa de árboles (m)

Diversidad de especies del arbolado urbano

En el Cuadro 1 se presentan las ecuaciones para calcular la diversidad de especies mediante el Índice de Diversidad de *Shannon* y el Índice de *Margalef* (Cultid-Medina & Escobar, 2019; Jost, 2006).

Cuadro 1. Ecuaciones utilizadas para calcular índices y diversidad.

Ecuaciones	Donde
$H' = -\Sigma_{i=1}^{S} \frac{n}{N} \times ln \frac{n}{N}$ (2)	*H'* = Índice de *Shannon* *S* = Número de especies presentes *N* = Número total de individuos *ln* = Logaritmo natural *n* = Número de individuos de la especie *i*
$D_{Mg} = \frac{S-1}{\ln(N)}$ (3)	D_{Mg} = Índice de *Margalef* *N* = Número total de individuos *S* = Número de especies presentes *ln* = Logaritmo natural

Riesgos asociados al arbolado urbano

Al referirse a factores de riesgo en el arbolado urbano, se consideran las interacciones y conflictos entre árboles y la infraestructura construida, como interferencias con aceras, daños a la infraestructura gris y riesgos asociados a obstáculos visuales y de movilidad, los cuales pueden mitigarse mediante enfoques que integren adecuadamente la infraestructura verde y gris en el espacio urbano (Otero-Durán & Torres, 2024).

Los riesgos se evaluaron con un enfoque semicuantitativo, en el que se consideraron indicadores de interacción árbol-infraestructura, como daño a pavimento, afectación a drenaje (cunetas), obstrucción del tránsito peatonal e interferencias visuales. Cada indicador se valoró con una escala ordinal de cuatro niveles (0=Sin daño, 1=Leve, 2=Moderado, 3=Severo), de acuerdo con criterios previamente definidos de magnitud de afectación.

Análisis de datos

Los datos se analizaron con estadística descriptiva. Adicionalmente, se realizaron análisis de correlación para explorar la relación entre las variables dasométricas y los niveles de daño; para ello, se utilizó el *software InfoStat* versión 2020 (Di Rienzo et al., 2020).

Resultados

En el censo se registraron 759 individuos, distribuidos en 50 especies y 26 familias, con predominio de Arecaceae y Fabaceae (Cuadro 2). Los taxa exóticos fueron dominantes: *Terminalia catappa* L. (385 individuos), *Ficus benjamina* L. (82 individuos) y *Elaeis guineensis* Jacq. (61 individuos) que concentraron los mayores valores de diámetro, altura y área de copa. Entre las nativas: *Calycophyllum spruceanum* (Benth.) Hook. f. *ex* K. Schum., *Cassia grandis* L. f., *Mauritia flexuosa* L. f. e *Inga edulis* Mart. destacaron por sus mayores dimensiones y cobertura que evidenció su aporte estructural y funcional; también se registró *Swietenia macrophylla* King, taxón de alto valor ecológico.

Cuadro 2. Especies del arbolado urbano, y promedio de variables dasométricas registradas en los ejemplares de cinco avenidas de la ciudad de Tingo María, Huánuco, Perú.

Familia	Nombre científico	Cantidad de individuos	Origen	*Dn* (cm)	*Ht* (m)	*AC* (m^2)
Combretaceae	*Terminalia catappa* L.	385	Exótica	24.02	5.39	43.78
Moraceae	*Ficus benjamina* L.	82	Exótica	15.17	2.96	9.07
Arecaceae	*Elaeis guineensis* Jacq.	61	Exótica	64.04	14.72	88.20
Myrtaceae	*Syzygium malaccense* (L.) Merr. & L. M. Perry	39	Exótica	34.22	8.02	44.12
Arecaceae	*Chrysalidocarpus lutescens* H. Wendl.	36	Exótica	9.24	4.56	8.34
Arecaceae	*Cocos nucifera* L.	22	Exótica	24.64	9.99	26.74
Anacardiaceae	*Mangifera indica* L.	14	Exótica	41.62	8.82	54.96
Annonaceae	*Annona muricata* L.	13	Nativa	13.84	5.70	11.31
Oxalidaceae	*Averrhoa carambola* L.	13	Exótica	18.42	4.66	18.84
Arecaceae	*Phoenix roebelenii* O'Brien	8	Exótica	10.56	2.20	6.02
Lauraceae	*Persea americana* Mill.	6	Nativa	15.20	6.08	29.39
Arecaceae	*Mauritia flexuosa* L. f.	6	Nativa	51.73	13.13	51.03
Rubiaceae	*Calycophyllum spruceanum* (Benth.) Hook. f. *ex* K. Schum.	5	Nativa	39.72	17.40	86.58
Fabaceae	*Cassia grandis* L. f.	4	Nativa	48.46	10.63	111.79
Caricaceae	*Carica papaya* L.	4	Nativa	10.11	2.93	1.04
Cupressaceae	*Cupressus macrocarpa* (Hartw.) Bartel	3	Exótica	7.96	4.05	5.23
Solanaceae	*Brunfelsia grandiflora* D. Don	3	Nativa	14.32	2.50	6.99
Fabaceae	*Inga edulis* Mart.	5	Nativa	12.86	5.14	28.73
Fabaceae	*Delonix regia* (Bojer *ex* Hook.) Raf.	3	Exótica	23.83	6.87	41.50
Rubiaceae	*Morinda citrifolia* L.	3	Nativa	15.23	4.57	13.58
Rubiaceae	*Ixora coccinea* L. (sinonimia de *Embothrium coccineum* J. R. Forst. & G. Forst.)	3	Exótica	6.93	1.64	0.94
Sapotaceae	*Pouteria caimito* Radlk.	3	Nativa	20.90	6.97	25.97
Malvaceae	*Matisia cordata* Bonpl.	3	Nativa	24.30	6.07	45.05
Arecaceae	*Adonidia merrillii* (Becc.) Becc.	2	Exótica	21.17	4.65	9.86
Piperaceae	*Piper aduncum* L.	2	Nativa	7.48	3.15	7.91

Cupressaceae	*Cupressus lusitanica* Mill. (sinonimia de *Hesperocyparis lusitanica* (Mill.) Bartel)	2	Exótica	11.46	3.83	6.09
Meliaceae	*Swietenia macrophylla* King	2	Nativa	24.70	5.80	10.40
Bignoniaceae	*Handroanthus capitatus* (Bureau & K. Schum.)	2	Exótica	14.96	4.50	15.09
Fabaceae	*Erythrina amazonica* Krukoff	2	Nativa	10.93	6.50	25.62
Malvaceae	*Hibiscus tiliaceus* L.	2	Exótica	11.62	6.00	9.33
Lythraceae	*Lagerstroemia indica* L.	2	Exótica	8.33	4.30	11.93
Malvaceae	*Hibiscus rosa-sinensis* L.	1	Exótica	12.73	3.00	3.33
Euphorbiaceae	*Codiaeum variegatum* (L.) A. Juss	1	Exótica	8.91	1.75	1.33
Cycadaceae	*Cycas revoluta* Thunb.	1	Exótica	13.85	3.00	8.17
Malvaceae	*Theobroma cacao* L.	1	Nativa	8.59	2.50	10.72
Rutaceae	*Citrus reticulata* Blanco	1	Exótica	8.75	6.00	6.28
Fabaceae	*Caesalpinia pulcherrima* (L.) Sw.	1	Exótica	12.41	6.30	26.39
Nyctaginaceae	*Bougainvillea spectabilis* Willd.	1	Exótica	14.32	3.20	5.94
Fabaceae	*Tamarindus indica* L.	1	Exótica	37.88	12.20	41.05
Rutaceae	*Citrus tangerina* Yu. Tanaka (sinonimia de *Citrus×aurantium* L.)	1	Exótica	12.73	4.50	28.20
Myrtaceae	*Eucalyptus globulus* Labill.	1	Exótica	39.79	16.00	70.92
Malvaceae	*Pachira aquatica* Aubl.	1	Nativa	47.43	10.00	1.65
Moraceae	*Ficus elastica* Roxb. *ex* Hornem.	1	Exótica	319.90	15.00	656.72
Fabaceae	*Calliandra angustifolia* Spruce *ex*. Benth.	1	Exótica	15.92	3.80	34.40
Malphigiaceae	*Bunchosia armeniaca* DC.	1	Nativa	9.87	3.50	3.77
Araucariaceae	*Araucaria columnaris* (G. Forst.) Hook.	1	Exótica	20.69	7.50	21.17
Arecaceae	*Bactris gasipaes* Kunth	1	Nativa	14.32	10.30	17.34
Meliaceae	*Guarea guidonia* (L.) Sleumer	1	Nativa	24.51	7.50	49.64
Euphorbiaceae	*Euphorbia trigona* Haw.	1	Exótica	----	2.10	----
Cactaceae	*Cereus hexagonus* (L.) Mill.	1	Exótica	----	4.20	----

Dn = Diámetro normal (cm); *Ht* = Altura total (m); *AC* = Área de copa de árboles (m^2).

La forma de copa predominante fue la aparasolada (51.1 %), seguida de la palmiforme (18.2 %) y la globosa (13.7 %); estas influyeron en la sombra, la regulación microclimática y el paisaje urbano (Figura 2).



A = Copa aparasolada de amplia sombra; B = Copa palmiforme de estructura vertical; C = Copa globosa densa y redondeada.

Figura 2. Ejemplos de formas de copa del arbolado urbano en Tingo María, Huánuco, Perú.

El diagnóstico físico y sanitario evidenció buen estado general, con 1.1 % de árboles descortezados y 0.5 % muertos, asociados principalmente a intervenciones antrópicas. No se registró pudrición; sin embargo, en 8.6 % de los individuos hubo presencia de plantas epífitas u oportunistas, principalmente bromelias y helechos. En términos de estabilidad, 55.9 % no mostró exposición radicular, frente a 16.7 % con exposición severa. Además, 75.1 % presentó fuste recto y 3.8 % inclinación fuerte, estos últimos requieren de seguimiento (Figura 3).



A = Descortezado del fuste; B = Especies invasoras (oportunistas); C = Exposición radicular severa; D = Fuste fuertemente inclinado con riesgo estructural.

Figura 3. Estado físico y sanitario del arbolado urbano en Tingo María, Huánuco, Perú.

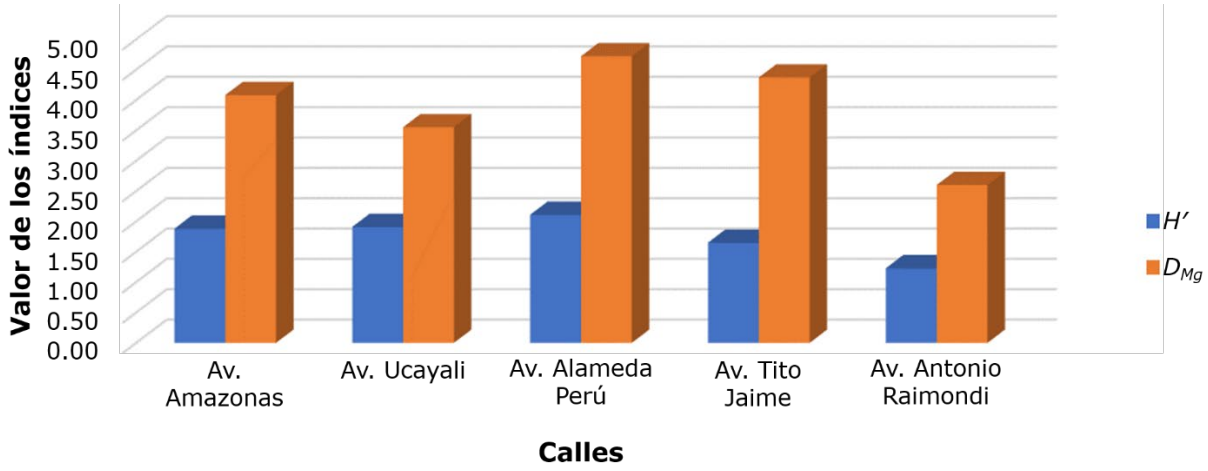
Los estadísticos descriptivos de las variables dasométricas evidenciaron una alta variabilidad estructural en las dimensiones del arbolado (Cuadro 3), que refleja la heterogeneidad en la composición, edad y estado de desarrollo de los individuos arbóreos, la cual, puede considerarse positiva desde el punto de vista de la diversidad estructural. Sin embargo, plantea desafíos para la gestión urbana, ya que se requiere de estrategias diferenciadas de mantenimiento, poda y renovación orientadas a mejorar la estabilidad, funcionalidad y provisión de servicios ecosistémicos a partir del arbolado urbano.

Cuadro 3. Estadísticos descriptivos de variables dasométricas registradas en el arbolado urbano de cinco avenidas en la ciudad de Tingo María, Huánuco, Perú.

Variable	Media	Desviación estándar	Coeficiente de variación	Mínimo	Máximo
Dn (cm)	26.12	18.80	71.96	6.37	319.90
Ht (m)	6.29	3.79	60.24	1.00	24.00
AC (m^2)	39.50	38.94	98.57	0.57	656.72

Dn = Diámetro normal (cm); *Ht* = Altura total (m); *AC* = Área de copa de árboles (m^2).

La evaluación conjunta de los índices de *Shannon-Wiener* (*H'*) y *Margalef* (D_{Mg}) mostró diferencias en la diversidad, riqueza y funcionalidad ecológica entre las avenidas evaluadas. En la Figura 4, se observa que la avenida Alameda Perú destacó en los tres indicadores, al registrar el mayor valor de diversidad específica (*H'*=2.11) y riqueza de especies (D_{Mg}=4.72), ello refleja una comunidad vegetal más diversa, estructuralmente compleja y con alta relevancia ecológica.



H′ = Índice de *Shannon-Wiener*; D_{Mg} = Índice de *Margalef*.

Figura 4. Índices de diversidad del arbolado urbano evaluado en cinco avenidas principales en la ciudad de Tingo María, Huánuco, Perú.

En la Figura 5, se muestra que el análisis conjunto evidencia una baja incidencia de interferencias del arbolado con la infraestructura urbana. Respecto al daño por el arbolado, 9 % causó daño severo a las aceras o pavimento (Figura 6A), mientras que 2.2 % a cunetas (Figura 6B). Asimismo, 1.8 % generó obstrucción visual de señalización a letreros privados (Figura 6C) y 1.1 % del arbolado urbano obstruyó el paso (Figura 6D).

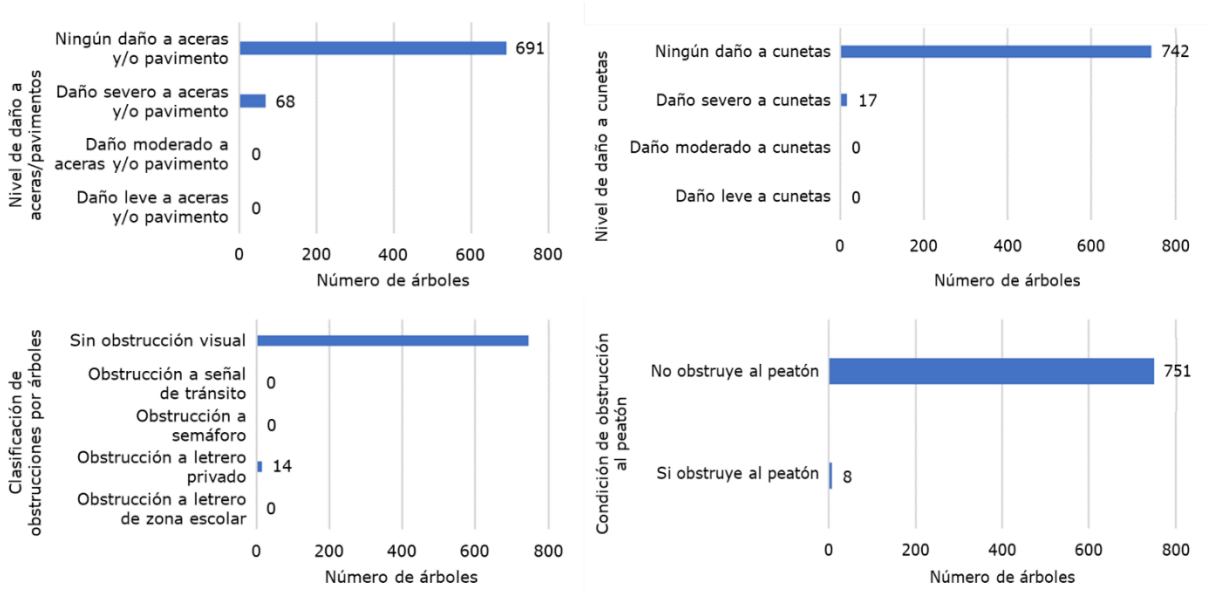


Figura 5. Riesgos asociados al arbolado urbano evaluado en 5 avenidas principales de la ciudad de Tingo María, Huánuco, Perú.



A = Daño a aceras; B = Daño a cunetas; C = Obstrucción a letrero privado; D = Obstrucción a paso peatonal.

Figura 6. Riesgos del arbolado urbano en Tingo María, Huánuco, Perú.

El análisis de correlación de *Spearman* evidenció que únicamente el área de copa presentó una relación significativa con el nivel de daño (p=0.106; p=0.004), indicando una correlación positiva débil. En contraste, el diámetro, la altura de fuste y la altura total no mostraron relaciones estadísticamente significativas (p>0.05), esto sugiere que esas variables no influyen de manera significativa en el daño evaluado (Cuadro 4).

Cuadro 4. Correlación de *Spearman* entre el nivel de daño y las variables dasométricas del arbolado urbano de cinco avenidas en Tingo María, Huánuco, Perú.

Variable	Coeficientes	Diámetro (cm)	Altura del fuste (m)	Altura total (m)	Área de copa (m^2)
Daño	Coeficiente de correlación	0.038	0.061	0.049	0.106**
	Sig. (bilateral)	0.3	0.093	0.18	0.004

**indica significancia estadística a p<0.01. El tamaño de muestra utilizado fue de n=759 individuos.

Discusión

La gran cantidad de individuos registrados, la diversidad de especies y el predominio de árboles en estado juvenil evidencian un alto potencial para la provisión de servicios ecosistémicos urbanos, como la regulación térmica, la captura y almacenamiento de carbono, la mejora de la calidad del aire y la infiltración hídrica (Baró et al., 2014). Sin embargo, la marcada dominancia de ciertas especies y la presencia puntual de individuos de gran porte requieren una planificación y gestión más rigurosa, orientada a diversificar la composición florística y asegurar buenas condiciones de crecimiento, con el fin de minimizar posibles riesgos para la infraestructura.

Asimismo, las áreas evaluadas presentan una mayor riqueza y diversidad florística (50 especies y 26 familias) en relación con estudios previos realizados en Pampas, Huancavelica-Perú, donde se registraron 13 especies y 10 familias en alamedas y jirones (Gutiérrez-Collao et al., 2025a); nueve especies y ocho familias en espacios abiertos (Gutiérrez-Collao et al., 2025b). Cabe resaltar que salvo la avenida Antonio Raimondi, las otras tuvieron valores altos de riqueza y diversidad respecto a dicha área, lo que muestra una estructura arbórea más compleja y funcional.

Por otro lado, la identificación de especies y el análisis de variables dasométricas evidencian una influencia limitada sobre los daños a la infraestructura. El análisis de correlación mostró que el área de copa presenta una relación estadísticamente significativa con el nivel de daño, ello indica que una mayor expansión de la copa se asocia con un ligero incremento de afectaciones. En contraste, el diámetro normal, la altura de fuste y la altura total no presentaron relaciones significativas, lo que sugiere que estas dimensiones no constituyen factores determinantes en el contexto evaluado.

Estos resultados difieren parcialmente de lo documentado por Day et al. (2010), Hilbert et al. (2020) y Sjöman et al. (2018), quienes señalan que árboles de gran porte generan mayores conflictos urbanos debido al desarrollo de sistemas radiculares más extensos. No obstante, la débil correlación del área de copa sugiere que el impacto podría estar

más asociado a la expansión lateral que al crecimiento vertical o al diámetro; posiblemente, por la interacción de raíces superficiales con la infraestructura.

En este sentido, los daños no dependen solo del tamaño del árbol, sino también de otros factores como la especie, la arquitectura radicular, las condiciones del suelo y el diseño urbano. En concordancia con Vogt et al. (2015), la planificación del arbolado debe integrar variables dasométricas con criterios ecológicos y espaciales para optimizar los servicios ecosistémicos y reducir conflictos (Esquivel & Quijas, 2021).

Diversos estudios indican que una menor distancia entre árboles e infraestructura incrementa la probabilidad de daño (Abd-Kadir & Othman, 2012; Alani & Lantini, 2020); sin embargo, esta variable no fue considerada en el estudio. Por ello, se recomienda que futuras investigaciones la incorporen, junto con diferencias entre especies, para establecer criterios técnicos.

Desde la perspectiva fitosanitaria y estructural, los resultados evidencian una baja incidencia de deterioro, con reducidas afectaciones como descortezado, clavos o alambres, oquedades y mortalidad; no obstante, pueden representar riesgos potenciales sin un monitoreo adecuado. Además, se registró la presencia de especies invasoras, principalmente epífitas (bromelias y helechos), típicas de ambientes tropicales húmedos que utilizan a los árboles como soporte, sin ser parasíticas. Aunque no generan fallas inmediatas, pueden debilitar progresivamente la estructura y aumentar la vulnerabilidad ante eventos climáticos o estrés urbano (Esquivel & Quijas, 2021). Al respecto, Zevgolis et al. (2022) recomiendan realizar inspecciones periódicas en individuos con defectos estructurales o signos de deterioro.

Conclusiones

Los hallazgos de la investigación muestran que el arbolado urbano de las cinco avenidas de Tingo María presenta alta diversidad florística y una estructura heterogénea, con una marcada concentración de individuos juveniles. Las variables dasométricas influyen en la interacción con la infraestructura urbana, lo que resalta la importancia de una adecuada selección de especies y planificación del espacio de plantación. Si bien el estado físico general es favorable, se requiere fortalecer la gestión técnica del arbolado para equilibrar diversidad, funcionalidad ecológica y reducción de riesgos que garanticen su sostenibilidad a largo plazo.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Ing. Ingrid Polet Chávez Merino por su colaboración en el registro de datos de la investigación.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de interés.

Contribución por autor

Jairo Edson Gutiérrez-Collao: desarrollo de manuscrito y análisis estadístico; Edwins Bens Sanchez Ramos: desarrollo de manuscrito; Julio Miguel Ángeles-Suazo: interpretación de resultados; Camila Valentina Carrasco-Llaique: análisis de datos; Frank Alex Chahuaylacc De La Cruz: análisis estadístico; Nataly Lujan Huamani: revisión de manuscrito.

Referencias

Abd-Kadir, M. A., & Othman, N. (2012). Towards a better tomorrow: street trees and their values in urban areas. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, *35*, 267-274. https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.02.088

Alani, A. M., & Lantini, L. (2020). Recent advances in tree root mapping and assessment using non-destructive testing methods: a focus on ground penetrating radar. *Surveys in Geophysics*, *41*, 605-646. https://doi.org/10.1007/s10712-019-09548-6

Andrade, R., Franklin, J., Larson, K. L., Swan, C. M., Lerman, S. B., Bateman, H. L., Warren, P. S., & York, A. (2021). Predicting the assembly of novel communities in urban ecosystems. *Landscape Ecology*, *36*, 1-15. https://doi.org/10.1007/s10980-020-01142-1

Angeles-Vasquez, R., Angeles-Suazo, J. M., Lavado-Meza, C., Gutiérrez-Collao, J. E., Meza-Mitma, P. M., de la Cruz-Cerron, L., Flores-Rojas, J., Karam, H. A., & Angeles-Suazo, N. (2025). Urban heat island in the city of Brasilia: A multi-method analysis. *Ecological Engineering & Environmental Technology*, *26*(10), 115-127. https://doi.org/10.12912/27197050/210313

Baró, F., Chaparro, L., Gómez-Baggethun, E., Langemeyer, J., Nowak, D. J., & Terradas, J. (2014). Contribution of ecosystem services to air quality and climate change mitigation policies: the case of urban forests in Barcelona, Spain. *Ambio*, *43*(4), 466-479. https://doi.org/10.1007/s13280-014-0507-x

Cultid-Medina, C. A., & Escobar, F. (2019). Pautas para la estimación y comparación estadística de la diversidad biológica (^{q}D). En C. E. Moreno (Ed.), *La biodiversidad en un mundo cambiante: Fundamentos teóricos y metodológicos para su estudio* (pp. 175-202). Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. https://www.researchgate.net/publication/340104672_Pautas_para_la_estimacion_y_comparacion_estadistica_de_la_diversidad_biologica_qD

Day, S. D., Wiseman, P. E., Dickinson, S. B., & Harris, J. R. (2010). Contemporary concepts of root system architecture of urban trees. *Arboriculture & Urban Forestry*, *36*(4), 149-159. https://doi.org/10.48044/jauf.2010.020

Di Rienzo, J. A., Balzarini, M. G., Casanoves, F., Gonzalez, L., Tablada, M., & Robledo, C. W. (2020). *InfoStat* (Versión 2020) [Software de computadora]. Universidad Nacional de Córdoba. http://www.infostat.com.ar

Esperon-Rodriguez, M., St-Denis, A., Messier, J., Gallagher, R. V., Tjoelker, M. G., & Messier, C. (2025). An integrative urban tree risk index as a novel framework for risk assessment: A case study of Montreal, Canada. *Urban Forestry & Urban Greening*, *113*, Article 129025. https://doi.org/10.1016/j.ufug.2025.129025

Esquivel, T., & Quijas, S. (2021). Daño a la infraestructura (pavimento) causado por el arbolado urbano en Puerto Vallarta, Jalisco. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, *12*(68), 178-201. https://doi.org/10.29298/rmcf.v12i68.1166

Gutiérrez-Collao, J. E., Meza-Mitma, P. M., Ramos-Huaman, K. D., Ospina-Castro, L. R., Pariona-Duran, S. Z., Chancha-Inga, J. J., Murga-Tirado, C. E., & Vasquez-Salazar, A. G. (2025a). Caracterización del arbolado y arbustos urbanos en Pampas, Huancavelica, Perú. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, *16*(90), 133-153. https://doi.org/10.29298/rmcf.v16i90.1549

Gutiérrez-Collao, J. E., Chahuaylacc-De La Cruz, F. A., Juñuruco-Pituy, L. N., Lujan-Huamani, N., Torres-Flores, E. L., Huayllani-Agui, Y. Y., Murga-Tirado, C. E., & Chihuan-Quispe, R. J. (2025b). Valoración económica de los servicios ecosistémicos de dos espacios abiertos de la ciudad de Pampas, Huancavelica, Perú. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, *16*(89), 159-179. https://doi.org/10.29298/rmcf.v16i89.1550

Hernández-López, P., Martínez-Trinidad, T., Mohedano-Caballero, L., Hernández-de la Rosa, P., & González-Guillén, M. de J. (2024). Características estructurales y nivel de riesgo de arbolado en un parque periurbano. *Madera y Bosques*, *30*(2), Artículo e3022606. https://doi.org/10.21829/myb.2024.3022606

Hilbert, D. R., North, E. A., Hauer, R. J., Koeser, A. K., McLean, D. C., Northrop, R. J., Andreu, M., & Parbs, S. (2020). Predicting trunk flare diameter to prevent tree damage to infrastructure. *Urban Forestry & Urban Greening*, *49*, Article 126645. https://doi.org/10.1016/j.ufug.2020.126645

Holdridge, L. R. (1978). *Ecología basada en zonas de vida*. Servicio editorial Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. https://repositorio.iica.int/items/1133111c-6a7a-4a9a-bc12-e87b2d68d824

Jiménez-Pérez, J., Sandoval-García, R., Alanís-Rodríguez, E., Yerena-Yamallel, J. I., & Aguirre-Calderón, O. A. (2022). Dinámica de cambio en ecosistemas urbanos y periurbanos en el área metropolitana de Monterrey, México. *Revista Cubana de Ciencias Forestales*, *10*(3), 278-291. https://cfores.upr.edu.cu/index.php/cfores

Jost, L. (2006). Entropy and diversity. *Oikos*, *113*(2), 363-375. https://doi.org/10.1111/j.2006.0030-1299.14714.x

Lucchezi-Miyahara, A. A., Wild, T., Sandre, A. A., Mesquita-Pellegrino, P. R., da Silva-Filho, C. A., Silveira-Buckeridge, M., & Maselli-Locosselli, G. (2022). Developing and classifying urban biomes as a basis for nature-based solutions. *Urban Climate*, *45*, Article 101251. https://doi.org/10.1016/j.uclim.2022.101251

Lyytimäki, J. (2017). Disservices of urban trees. In F. Ferrini, C. C. K. van den Bosch & A. Fini (Eds.), *Routledge handbook of urban forestry* (pp. 164-176). Routledge. https://www.taylorfrancis.com/chapters/edit/10.4324/9781315627106-12/disservices-urban-trees-jari-lyytim%C3%A4ki

Madayani, C., & Yola, L. (2025). Impact of trees cooling effect in Jakarta's green open space: Urban thermal simulation. In E. M. Nia, M. Awang, M. F. N. Aulady, M. Traykova & L. Yola (Eds.), *Selected articles from the 8th International Conference on Architecture and Civil Engineering (ICACE 2024)* (pp. 252-261). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-96-5654-7_25

Martínez-Juárez, G., Rodríguez-Trejo, D. A., Granados-Sánchez, D., Mohedano-Caballero, L., & Villanueva-Morales, A. (2022). Descripción del arbolado de alineación de la ciudad de Puebla por grado de marginación y vialidad. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, *13*(70), 85-111. https://doi.org/10.29298/rmcf.v13i70.830

Martínez-Trinidad, T., Hernández-López, P., López-López, S. F., & Mohedano-Caballero, L. (2021). Diversidad, estructura y servicios ecosistémicos del arbolado en cuatro parques de Texcoco mediante *i-Tree Eco*. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, *12*(67), 202-223. https://doi.org/10.29298/rmcf.v12i67.880

Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego. (2022). *Guía metodológica para el estudio de levantamiento de la cobertura vegetal (bosques) para la clasificación de tierras por su capacidad de uso mayor (Ctcum)*. Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego. https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/3943514/GUIA_METODOLOGICA_EV_CTCUM_VF_23NOV22FF.pdf.pdf?v=1671211112

Otero-Durán, L., & Torres, A. (2024). Trees and sidewalks: toward an infrastructure protection approach. *Frontiers in Sustainable Cities*, *6*, Article 1336472. https://doi.org/10.3389/frsc.2024.1336472

Semeraro, T., Scarano, A., Buccolieri, R., Santino, A., & Aarrevaara, E. (2021). Planning of urban green spaces: An ecological perspective on human benefits. *Land*, *10*(2), Article 105. https://doi.org/10.3390/land10020105

Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. (2022). *Datos hidrometeorológicos a nivel nacional* [Conjunto de datos]. Ministerio del Ambiente. https://www.senamhi.gob.pe/?&p=estaciones

Sharma, S., Hussain, S., Kumar, P., & Singh, A. N. (2024). Urban trees' potential for regulatory services in the urban environment: an exploration of carbon sequestration. *Environmental Monitoring and Assessment*, *196*, Article 504. https://doi.org/10.1007/s10661-024-12634-x

Sikuzani, Y. U., Malaisse, F., Kaleba, S. C., Mwanke, A. K., Yamba, A. M., Khonde, C. N., Bogaert, J., & Kankumbi, F. M. (2019). Tree diversity and structure on green space of urban and peri-urban zones: The case of Lubumbashi City in the Democratic Republic of Congo. *Urban Forestry & Urban Greening*, *41*, 67-74. https://doi.org/10.1016/j.ufug.2019.03.008

Sjöman, H., Hirons, A. D., & Bassuk, N. L. (2018). Improving confidence in tree species selection for challenging urban sites: a role for leaf turgor loss. *Urban Ecosystems*, *21*, 1171-1188. https://doi.org/10.1007/s11252-018-0791-5

Tomao, A., Secondi, L., Corona, P., Giuliarelli, D., Quatrini, V., & Agrimi, M. (2015). Can composite indices explain multidimensionality of tree risk assessment? A case study in an historical monumental complex. *Urban Forestry and Urban Greening*, *14*(3), 456-465. https://doi.org/10.1016/j.ufug.2015.04.009

Vashist, M., Singh, S. K., & Kumar, T. V. (2025). Enhancing resilience for sustainable cities: a review of threats to urban trees. *Biodiversity and Conservation*, *34*, 1231-1258. https://doi.org/10.1007/s10531-025-03025-w

Vogt, J., Hauer, R. J., & Fischer, B. C. (2015). The costs of maintaining and not maintaining the urban forest: A review of the urban forestry and arboriculture literature. *Arboriculture & Urban Forestry*, *41*(6), 293-323. https://doi.org/10.48044/jauf.2015.027

World Flora Online. (2025). *WFO Plant List Snapshots of the taxonomy* [Data set]. Royal Botanic Gardens and the Missouri Botanical Garden. https://wfoplantlist.org/

Zevgolis, Y. G., Alsamail, M. Z., Akriotis, T., Dimitrakopoulos, P. G., & Troumbis, A. Y. (2022). Detecting, quantifying, and mapping urban trees' structural defects using infrared thermography: Implications for tree risk assessment and management. *Urban Forestry & Urban Greening*, *75*, Article 127691. https://doi.org/10.1016/j.ufug.2022.127691

Todos los textos publicados por la **Revista Mexicana de Ciencias Forestales –**sin excepción– se distribuyen amparados bajo la licencia *Creative Commons 4.0* Atribución-No Comercial (CC BY-NC 4.0 Internacional), que permite a terceros utilizar lo publicado siempre que mencionen la autoría del trabajo y a la primera publicación en esta revista.